

Analýza současného stavu řízení fermentačních procesů 579 663

Měřicí metody a čidla

Doc. Ing. ZDENĚK BURIANEC, CSc., Ing. JANA BURIANOVÁ, CSc., Ing. BLAŽENA HERALOVÁ, Vysoká škola chemickotechnologická, katedra kvasné chemie a bioinženýrství, Praha

Klíčová slova: měřicí metody, čidla, biotechnologie, fermentace, řízení

Je uveden první ze série článků, zabývajících se problematikou automatizace fermentačních procesů. Celkově bude podán kritický přehled současného stavu řízení fermentačních procesů a doplněn výsledky počítačové rešerše publikací od roku 1981.

ÚVOD

V posledních letech stále více proniká do podvědomí technické veřejnosti pocit nutnosti používání počítačů ve všech oborech činnosti. Tak tomu je i v biotechnologiích. Důvodů je několik:

- klesá cena hardwaru,
- vzrůstá výpočetní rychlost a spolehlivost počítačů,
- přímé číslicové řízení realizované mikropočítači je ekonomičtější a má řadu předností před klasickými analogovými obvody,
- nasazení počítače umožňuje ukládání dat a jejich zpracování ve formě dopočítávaných bioinženýrských parametrů; zrychluje a rozšiřuje tak oblast výzkumu a kvalitu vedení procesu.

Na druhé straně existují však při automatizaci fermentačních procesů problémy, jako např.:

- nedostatek čidel vhodných pro sledování „on-line“ jak fyzikálních, tak biologických podmínek uvnitř reaktoru,
- nedostatek vědomostí o metabolických a buněčných mechanismech, které podmiňují úspěšný vývoj algoritmu řízení a optimalizaci procesu,
- nutnost provádění makroskopických bilancí (např. biogenních prvků) a analýzy „off-line“; pro nedostatek vhodných čidel, nutnost zavedení účinné filtrace šumu a použití algoritmu na detekci, event. odstranění chyb měření; ta je nezbytná pro doplnění měření nepřesných a často nespolehlivých čidel,
- neexistují kvalitní čidla na vyšší technické úrovni pro přímé sledování složitých fermentačních procesů, např. se směsnými kulturami a směsnými substráty.

Při volbě typu konfigurace počítačového systému je třeba vycházet z analýzy cíle řízení studovaného problému; např. monitorování průběhu nebo sběr dat a analýza dat, nebo identifikace stavů a určení parametrů modelu, nebo modelování a simulace, řízení, optimalizace apod. Jednotlivá aplikace vyžaduje pak specifické hardwarové a softwarové vybavení v kombinaci s příslušnou instrumentací procesu. Základem jakékoliv automatizace procesu je zajištění kvalitního sběru informací o procesu, a proto se nejprve zabýváme problematikou čidel.

Těžiště článku leží tedy v přehledu současného stavu měřicí techniky, používané ke sledování a řízení biotechnologických procesů. Přehled literatury uvádí nejzávažnější články, publikované v posledních letech a získané počítačovou rešerší z Chemical Abstracts z let 1981—1988 komplikovanou kombinací klíčových slov, týkajících se v podstatě řízení biotechnologických procesů. Pro běžné informace citaci literatury neuvádíme.

PŘEHLED ČIDEL POUŽÍVANÝCH PRO SLEDOVÁNÍ A ŘÍZENÍ PROCESŮ

Čidla pro fermentační procesy jsou podstatně méně spolehlivá než čidla pro chemické procesy. K tomu přispívá skutečnost, že v chemii většinou pracujeme s prostředím, které je fyzikálně homogenní (plyn, kapalina), zatímco u fermentačních procesů je mikrobiální prostředí fyzikálně heterogenní a jak vzorkování, tak měření je velmi obtížné. V úvahu je nutno brát i to, že dynamika biologických procesů ve své složitosti nemá analogii v chemických procesech, které jsou ve velké míře relativně snáze pochopitelné a zvládnutelné.

Další hledisko, ze kterého je třeba posuzovat čidla, je vlastnost, umožňující nepřetržité a zcela automatizo-

vané měření. Dále je to konstrukce čidla, která zajišťuje elektrický signál na standardní úrovni, např. 4–20 mA. Nezanedbatelná je i rychlost odezvy, sterilizovatelnost a cena. Cena je často nejzávažnějším ukazatelem při volbě systému instrumentace.

Případná nutnost provádět analýzy off-line s dlouhou časovou odezvou podstatně ovlivňuje vlastní tvorbu algoritmu řízení i způsob monitorování procesu, konečně i celou činnost operátora.

Čidla umísťujeme v závislosti na typu měřené veličiny buď přímo v kultivovaném médiu ve fermentoru, nebo ve vstupech nebo výstupech z fermentoru, nebo konečně v obtoku při kontinuálním toku materiálu.

Měřené veličiny mohou být rozděleny do několika skupin, které postupně probereme v souvislosti s metodami měření.

A. Měření fyzikálních veličin

Teplota patří k nejvýznamnějším sledovaným a regulovaným veličinám. Měří se běžnými čidly jako je termočlánek, odporový teploměr nebo termistor. V ČSSR vyrábí tato čidla ZPA Nová Paka, Metra Blansko, Pramet Šumperk, Messit Uherské Hradiště. Zahraniční výrobci dodávají čidla s elektronickým adaptérem s normalizovaným výstupem např. 4 až 20 mA, např. u odporového čidla s přesností $\pm 0,15\%$ kalibrovaného rozsahu. Teplota je řízena buď vnitřním nebo vnějším výměníkem; pokud generace tepla mikrobiálním procesem není velká, lze řízení tepla ve fermentoru zajistit chlazením přiváděného substrátu.

Tak uvnitř fermentoru se měří membránovými snímači s převodem na elektrický signál. Do sterilního prostředí se vyrábějí snímače též v NDR (VEB GRW TELTOW), ale jsou svou konstrukcí nevhodné pro menší typy fermentorů. Některé renomované firmy dodávají snímače pro sterilní prostředí (např. FOXEORO), přesnost je 0,2 % rozsahu.

Tenzometrické snímače vyrábějí v ČSSR ZPA Jinonice.

Objem fermentoru, resp. hladina kapaliny ve fermentoru musí být průběžně sledována. Výška hladiny se měří kontaktními čidly s použitím vodivostních nebo kapacitních sond. Sondy jsou dvojího typu, limitní — pro detekci konstantní výšky, nebo kontinuální, pro plynulé měření výšky hladiny. Výrobce v ČSSR je ZPA Ústí n.L. nebo JZD Podřevnicko. Pro dvoupolohové měření výšky hladiny je možno použít termistorové vyhlívané čidlo, vyráběné JZD Slušovice. Výšku hladiny je možno měřit nepřímo vysílačem tlaku, umístěným vespodu fermentoru. Vzhledem ke sterilitě prostředí je možno použít pouze zahraniční výrobek, např. Foxboro uvádí přesnost měření hladiny ± 23 mm.

Spolehlivé použití čidel v tomto případě je spojeno s problémem orosení jejich konců nebo pokrytí vrstvou vláknitých mikroorganismů, turbulencí hladiny způsobenou mícháním, plynovými bublinami v roztoku a tvorbou pěny na povrchu. Celkově tedy přesnost měření výšky není vysoká a odhaduje se asi na 5 % rel.

Hmotnost fermentoru, resp. hmotnost náplně fermentoru je dalším důležitým sledovaným parametrem. Zjišťuje se vážením nebo tenzometrickými snímači. Tenzometrické váhy vyrábí u nás Transporta Úpice. Problém vážení komplikuje potrubní síť, připojená na fermentor.

Hustota média je sledována pouze u některých biotechnologických procesů. V zahraničí byly vypracovány speciální přístroje, založené buď na radiometrickém měření záření některých radioaktivních prvků (např. Cs¹³⁷), nebo na měření vibrací kapiláry ve tvaru U, kte-

rou protéká analyzované médium. V prvním případě je snímáči zařízení namontováno přímo na potrubí nebo fermentor bez doteku čidla s médiem, což má značné výhody pro práci ve sterilním prostředí. Přístroje pro radiometrické měření hustoty vyábí např. firma Berthold, na principu vibrací firma Chempro.

Hustotu je možno měřit též nepřímou z hydrostatického tlaku při známé výšce kapaliny. Tento způsob je však problematický při fermentacích vzhledem k nepřesnosti určení výšky hladiny.

Otáčky míchadla. Měří se tachodynamem, pulsním čítačem nebo dynamometrem. Měření frekvence otáček je důležité pro sledování velikosti střizných sil a pro řízení aerace. Výrobce tachodynamu a tachogenerátorů je MEZ Náchod, mechanického čítače Tesla Brno.

Příkon míchadla charakterizuje množství energie dodávané do procesu, která podstatně ovlivňuje sdílení hmoty mezi fázemi, konkrétně koncentraci rozpuštěného kyslíku a oxidu uhličitého.

Mícháním se zajišťuje nejen homogenita média, ale i dispergace plynu v kapalně fázi. V případě, že se provádějí přesná měření v souvislosti s tepelnou bilancí fermentoru, musí být znám příkon míchadla s poměrně vysokou přesností.

Příkon míchadla měříme torzním dynamometrem (Metra Blansko). Měření je nepřesné vzhledem ke ztrátám způsobeným třením hřídele (až 30 % ztrát). Účinnější způsob měření je zabudování tenzometrů přímo do hřídele míchadla.

U některých přetržitých procesů, zvláště při pěstování vláknitých mikroorganismů, může měření příkonu přinést významné informace o průběhu procesu.

Průtok plynu měříme několika typy čidel.

- a) rotametr s elektrickým výstupem. Relativně laciný, avšak s omezenou přesností (Výrobce VEB MLW Medingen, NDR);
- b) zařízení, kde se proudící plyn elektricky ohřívá a ze změny teplot plynu, indikovaných dvěma termistory umístěnými před a za ohřívacím tělesem, se měří a současně reguluje průtok. V ČSSR vyrábí přístroj Tesla Elstroj;
- c) clonka s měřičem tlakového rozdílu.

Průtok kapalných médií

V posledních letech nelze pozorovat nějaký významný pokrok v dávkování kapalin. Používají se běžné známé typy pístových, membránových a peristaltických čerpadel. Liší se maximálním výkonem, možnostmi sterilace a reprodukovatelností. Průtok je možno měřit běžnými čidly používanými v chemickém průmyslu, jako jsou čidla průřezová, magnetometrická apod.

Nabízí se možnost měřit množství kapaliny na základě měření hmotnosti zásobníku kapaliny. Tento integrální údaj celkové dávky je výhodný, avšak při výpočtu rychlosti změny hmotnosti, resp. průtoku jsou údaje nepřesné, zatíženy šumem a nutno použít účinné filtrace dat (např. při měření odpěňovacího oleje, živin, amoniaku apod.).

Viskozita

Vzhledem k velké variabilitě roztoků pro fermentaci může se viskozita různých médií lišit o několik řádů. Také během fermentace, především u přetržitých procesů, dochází často k velkým změnám viskozity. Viskozita ovlivňuje údaje čidel, charakteristiky mísení, přenos hmoty a tepla a konečně i spotřebu energie. Přesto nebylo věnováno mnoho pozornosti měření viskozity jako prostředku pro on-line monitorování fermentoru.

Existují v podstatě dva typy viskozimetrů; kapilární a rotační. Problematika je velmi složitá a v rámci této práce není místo pro podrobnější rozbor.

Pěna

Detekce a regulace výšky pěny tvoří zásadní problém, jehož vyřešení zajišťuje správný chod fermentoru. Výška pěny se detekuje vodivostními čidly a může být regulována vícestupňovým regulačním systémem. Jako odpěňovadla se používá silikonových nebo uhlovodíkových olejů. Jejich nevýhodou je relativně vysoká cena při větší spotřebě odpěňovadla pro velké fermentory, špatná sterilovatelnost, vliv na přenos kyslíku, na údaje čidel a v neposlední řadě i významný vliv na mikroorganismy.

Pokračování

Konstrukční materiály pro biotechnologický průmysl

I. Kovy a jejich slitiny

Ing. JAN PÁCA, CSc., Vysoká škola chemickotechnologická, katedra kvasné chemie a bioinženýrství, Praha

Klíčová slova: konstrukční materiály, koroze, biotechnologický průmysl, povrchové úpravy

1. ÚVOD

Volba konstrukčních materiálů pro stavbu strojů a zařízení používaných v biotechnologických výrobcích musí být prováděna s přihlédnutím ke specifickým požadavkům jak vlastního biologického procesu, tak i přípravy surovin a zpracování získaného produktu. Podmínky, za kterých probíhají biologické procesy, jsou ve srovnání s podmínkami v chemickém průmyslu podstatně méně náročné z hlediska rozsahu teplot, tlaků a pH prostředí. Za extrémní podmínky lze považovat: maximální přetlak 0,2 MPa, teplota do 130 °C (během sterilace), pH může poklesnout asi na 1 (např. u citrónové kyseliny, u sulfátových výluhů poněkud vyšší). Naopak horní mez pH může být 9 až 10 (stav autolýzy u některých kultivací bakterií). Volbu vhodného materiálu daleko více než zmíněné vnější podmínky ovlivňuje požadavek udržení hygienických podmínek a ve většině případů i aseptických podmínek procesu.

Dodržení hygieny prováděných operací předpokládá inertnost všech vnějších ploch přicházejících do styku s potravinami nebo farmaceutickými preparáty. Nesmí docházet ke kontaminaci produktu kovy nejen z důvodu jejich toxicity, nýbrž i proto, že tyto stopové prvky mohou katalyzovat rozklad produktu v průběhu skladování. Používané materiály musí dále splňovat tyto vlastnosti: být bez zápachu, nepůsobit změny chuti a vůně

produktu, být odolné proti odprýskání povrchu, korozi-vzdorné a neabsorbovat plyny či kapaliny. Tyto vlastnosti musí splňovat materiály nejen vůči zpracovávanému produktu, ale též vůči látkám používaným k čištění a sanitaci, tzn. horkým roztokům alkálií, směsi dusičné a fosforečné kyseliny apod. Povrchy strojů a zařízení přicházející do styku s produktem musí být hladké, bez důlků, prohlubní, štěrbin a tzv. „mrtvých“ prostorů, tzn. ostrých koutů nebo prostorů, ve kterých by mohla přežívat a dokonce se hromadit mikrobiální kontaminace.

Požadavky na udržení **aseptických podmínek** jsou podobné požadavkům hygienickým. Navíc zde přistupuje ještě nutnost sterilace párou, horkou tlakovou vodou event. chemickými prostředky. V bioreaktorech, ve kterých je riziko kontaminace zvláště vysoké, je obvykle požadavkem leštěný vnitřní povrch, event. pasivace.

Dále jsou probrány jednotlivé kovové konstrukční materiály používané v biotechnologickém průmyslu z hlediska vhodnosti použití.

2. LITINA A OCEL

Litina se používá velice málo, převážně pouze na frémy strojů.

Uhlíková ocel obsahující méně než 0,25 % C se původně používala ke stavbě vlastního tělesa fermentoru.